Volumen 38, Nº 2. Páginas 109-117
A. ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN / RESEARCH PAPERS IDESIA (Chile) Junio, 2020

Manejo de diferentes densidades de plantación y aplicación de microorganismos eficientes que incrementan la productividad del arroz

Management planting densities and application of efficient microorganisms that increase rice productivity

Alexander Calero Hurtado[1], Dilier Olivera Viciedo[1], Yanery Pérez Díaz[2], Yainier González-Pardo Hurtado[3], Lesly Analay Yánez Simón[3], Kolima Peña Calzada[1]*

RESUMEN

La utilización de densidades de plantación (D) adecuadas es un parámetro importante para incrementar la productividad del grano de arroz. Por otra parte, la aplicación del biopreparado de microorganismos eficientes (ME) puede ser una alternativa efectiva para la producción de arroz en época de siembra temprana. Por tanto, el objetivo de esta investigación fue comparar diferentes densidades de plantación e investigar el efecto de la aplicación de microorganismos eficientes en el aumento del rendimiento del arroz. El modelo experimental correspondió a un diseño en bloques al azar, distribuido en esquema factorial 4×2, que consistió en cuatro densidades de plantación (25000, 35000, 45000 y 55000 plantas ha^{-1}), combinadas con la ausencia (0 mL L^{-1}) y presencia (100 mL L^{-1}) del biopreparado de microorganismos eficientes. Los parámetros evaluados fueron altura de la planta (cm), número de tallos por plantón, porcentaje de tallos fértiles y granos llenos por panícula, número de panículas por m^2, el número de granos por panícula, la longitud de la panícula (cm), la masa de 1000 granos (g) y el rendimiento (t ha^{-1}). Los resultados mostraron efectos significativos de la interacción densidad × microorganismos eficientes. Nuestros hallazgos indicaron que la densidad de 45000 plantas ha^{-1} fue más efectiva porque incrementó el rendimiento del grano en 84% en la ausencia de ME y 58% en la presencia de ME con relación a menor densidad y resultó significativamente superior a las otras dos densidades estudiadas. Se demostró que la aplicación de ME vía suelo potencializa la productividad del arroz. Esto fue posible porque se modificaron los parámetros del crecimiento y desarrollo evaluados y, por lo tanto, podría conducir a un aumento sostenible en el rendimiento de los cultivos.

Palabras clave: *Oryza sativa*, microorganismos benéficos, inoculación, rendimiento, distancia de siembra.

ABSTRACT

The use of adequate planting densities (D) it is an important parameter to increase rice grain productivity, on the other hand, the use of efficient microorganisms (EM) bio-prepared, can be an efficient alternative, for rice production in early planting season. Therefore, the objective of the present research was to compare different planting densities and to investigate the effect of the addition of efficient microorganisms in increasing rice yield. The experimental model corresponded to a randomized block design, in a factorial scheme (4 × 2), which consisted of four planting densities (25000, 35000, 45000, and 55000 plant ha^{-1}) combined with the absence (0 mL L^{-1}) and presence (100 mL L^{-1}) of the bio-prepared of efficient microorganisms. The parameters evaluated were plant height (cm), tillers number, percentage of fertile tillers and full grains per panicle, number of panicles per m^2, number of grains per panicle, length of panicle (cm), 1000-grains mass (g) and yield (t ha^{-1}). The results showed significant effects of the interaction density × efficient microorganisms. Our findings indicated that the density of 45,000 plants ha^{-1} was more effective because increased grain yield by 84% the absence of ME and by 58% in the presence of ME relative to the lower density and was significantly higher than the others two densities. Our results indicate that the application of ME via soil enhances rice crop productivity. This was possible because the growth and development parameters evaluated were modified and, therefore, could lead to a sustainable increase in crop yield.

Keywords*: beneficial microorganism,* Oryza sativa*, soil inoculation, yield, sowing distance.*

1 Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP). Av. Prof. Paulo Donato Castellane s/n, barrio rural, 14884900. Jaboticabal, São Paulo, Brasil.
2 Centro Universitario Municipal de Taguasco Enrique José Varona. Universidad de Sancti Spíritus José Martí Pérez. Sancti Spíritus, Cuba.
3 Universidad de Sancti Spíritus José Martí Pérez (UNISS). Sancti Spíritus, Cuba.
* Autor para correspondencia: alexcalero34@gmail.com; alexander.calero@unesp.br

Fecha de Recepción: 3 de Enero, 2020.
Fecha de Aceptación: 3 de Marzo, 2020.

VISIT…

LANZAROTE
Caliente.COM

Introducción

Las plantas de cultivo dependen en gran medida de la temperatura, la radiación solar, la humedad y la fertilidad del suelo para su crecimiento y requerimientos nutricionales. Un cultivo de población espesa puede tener limitaciones en la disponibilidad máxima de estos factores. Por lo tanto, es necesario determinar la densidad óptima de la población de plantas por unidad de área para obtener los rendimientos máximos (Baloch *et al.*, 2002). El arroz (*Oryza sativa* L.) es el alimento básico de más de la mitad de la población mundial y la demanda está aumentando continuamente (Marxen *et al.*, 2016). En consecuencia, es necesario incrementar la producción de arroz, para satisfacer la creciente demanda de la población mundial, a pesar de los recursos limitados de tierras cultivables, agua de riego y fertilizantes (Elmoghazy y Elshenawy, 2019).

Para incrementar la productividad del arroz, los agricultores han utilizado ampliamente el fertilizante nitrogenado, mientras que a menudo se descuida el ajuste de la densidad de siembra o población (Tian *et al.*, 2017). Por otro lado, un enfoque importante para obtener una mayor productividad del grano es aumentar la densidad de población. El arroz es un cultivo perenne único con un potencial de ahijamiento indeterminado y el número de tallos se ve fácilmente influenciado por la disponibilidad de nutrientes, la densidad de siembra o plantación y la variedad (Huang, Zhang, Jiang y Zou, 2013). Además, Shen *et al.* (2006) indicaron que entre todas las prácticas agronómicas que influyen en el rendimiento del grano de arroz trasplantado, la edad de las plántulas y la densidad de plantación son los factores más importantes, seguidos por el uso de fertilizantes.

El aumento de la producción de arroz es uno de los propósitos actuales y si se logra mediante una agricultura sostenible, que no perjudique el medio ambiente, puede constituir una alternativa para que algunos países aseguren la alimentación de su población (Calero, Olivera y García, 2015). Actualmente, una de las tecnologías consideradas para producir alimentos es el uso de los microorganismos eficientes (ME), un complejo multimicrobiano descubierto y generalizado por el profesor Teuro Higa, Japón (Higa y Parr, 1994), compuesto por varios géneros de bacterias, hongos, levaduras, entre otros. Este biopreparado promueve y beneficia las propiedades físicas y químicas de los suelos (Calero *et al.*, 2019). Recientemente, algunos estudios demostraron el efecto benéfico de los ME en el incremento del crecimiento y el rendimiento del arroz (Milian *et al.*, 2014) y otras especies de plantas como frijol (Calero, Quintero, & Pérez, 2017; Calero, Quintero, Pérez, Olivera, Peña, & Jiménez, 2019), tabaco (Calero, Quintero, Olivera, *et al.*, 2019), rábano (Calero, Pérez, Peña, Quintero, & Olivera, 2019) y pepino (Calero, Quintero, Pérez, González-Pardo, & Lorenzo, 2019).



Por lo tanto, es un desafío identificar estudios de campo en los cuales las densidades de plantación se acerquen al límite potencial de rendimiento de las variedades, mientras que los efectos beneficiosos de los ME están bien destacados en la literatura de algunas especies de plantas. Sin embargo, los estudios de estos dos factores en aplicación conjunta son escasos. Por ello, la hipótesis de esta investigación fue comprobar si la utilización de diferentes densidades de plantación y la aplicación del biopreparado de ME de manera individual incrementan la productividad del arroz, y más todavía, si es posible maximizar el rendimiento del cultivo con la aplicación combinada de ambos factores. El objetivo general del estudio fue comparar diferentes densidades de plantación e investigar el efecto de la aplicación de microorganismos eficientes en el aumento del rendimiento del arroz.

Materiales y métodos

Condiciones de cultivo y material vegetal

El experimento se desarrolló en las áreas de la Cooperativa de Créditos y Servicios (CCS) Mártires de Taguasco, municipio de Cabaiguán, Sancti Spíritus, Cuba, de junio de 2016 a octubre de 2017. La plantación se realizó de forma manual, con apoyo de una cinta métrica para garantizar las densidades adecuadas. Las labores agrotécnicas como el trasplante, la fertilización, el riego y control fitosanitario fueron desarrolladas según los diseños tecnológicos apropiados para el cultivo (Rivero & Suárez, 2015).

La variedad INCA LP-5 fue obtenida en la Estación Experimental del Arroz Los Palacio, Pinar del Río, Cuba. Es una variedad de ciclo corto, clasificada como tipo índica semienana y muy vigorosa en sus etapas iniciales de crecimiento. El

porte es erecto, con una altura promedio de 90,3 cm, rendimiento agrícola de 8,2 t ha^{-1} en época menos lluviosa y en la lluviosa de 5,70 t ha^{-1}. Resistente al acame, moderadamente resistente a *Tagosodes, Piricularea* y *Stenotarsonemus*, con fuerte ahijamiento y una masa promedio de 1000 granos de 29,3 g.

Las variables climáticas fueron registradas por la Estación Municipal de Recursos Hidráulicos de Cabaiguán durante el desarrollo de la investigación. La temperatura media diaria fue de 24,5 ºC, la humedad relativa media diaria 78,7% y la precipitación pluvial acumulada de 139,50 mm.

El suelo fue clasificado como Pardo Sialítico Carbonatado (Hernández *et al.*, 2015). Presenta perfil ABC, de mediana a poca profundidad, de color pardo a pardo oscuro y en ocasiones verde azulado cuando existen condiciones de oxidación en el medio, por el mal drenaje o compactación. Son suelos arcillosos con predominio de arcillas del tipo 2:1 Montmorillonita. Representan estadios jóvenes de formación del suelo y entre sus mayores limitantes agroproductivas se encuentran la poca profundidad efectiva y la susceptibilidad a la compactación, cuando no son manejados adecuadamente.

Diseño experimental y tratamientos

Se utilizó un diseño experimental en bloques al azar, en esquema factorial (4 × 2). Cuatro densidades de plantación 25000, 35000, 45000 y 55000 plantas ha^{-1} combinadas con la ausencia (0 mL L^{-1}) y presencia (100 mL L^{-1}) del biopreparado ME y con cinco réplicas. Las parcelas fueron de 6,0 m^2, el área efectiva de 2,20 m^2 y el total de 0,10 ha. Las plántulas de tres semanas de edad fueron seleccionadas con base en la uniformidad de tamaño y grosor y se trasplantaron con un promedio de una plántula por sitio.

La aplicación del bioproducto ME fue vía suelo a la concentración de 100 mL L^{-1} (dosis de 40 L ha^{-1}) (Calero *et al.*, 2019) en tres momentos, antes de la plantación, y seguidamente se procedió con esta labor, en la etapa de ahijamiento activo y en la etapa de diferenciación de la panícula.

El inóculo del biopreparado de microorganismos eficientes (Lote ME) fue donado por la Sucursal de Labiofam de Sancti Spíritus y está compuesto por tres especies principales: *Bacillus subtilis* B/23-45-10 Nato (5,4 10^4 unidades formadoras de colonias (UFC) mL^{-1}), *Lactobacillus bulgaricum* B/103-4-1 (3,6 10^4 UFC mL^{-1}) y *Saccharomyces cereviciae* L-25-7-12 (22,3 10^5 UFC mL^{-1}), con certificado de calidad emitido por el Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA), código R-ID-B-Prot-01-01. Este bioproducto fue preparado de acuerdo con los criterios expuestos por Olivera, Ayala, Calero, Santana y Hernández (2014), mezclando los residuos industriales polvo de arroz, suero de leche y melaza, a los que se adicionó posteriormente hojarasca proveniente de hojas de bambú. Luego fue sometido a un proceso de fermentación anaeróbica por 21 días. Después se tomaron las muestras aleatoriamente para realizar la caracterización química del biopreparado (Tabla 1) (López *et al.*, 2017).

Parámetros evaluados

Los muestreos se hicieron en las etapas de crecimiento y desarrollo para el cultivo, siguiendo los criterios expresados anteriormente por Abe (2006). Se seleccionaron 50 plantas por tratamiento. Los parámetros evaluados fueron la altura de la planta (cm) (AP) y el número de tallos por plantón (TP) en la etapa de iniciación de la panícula, mientras que en la cosecha se observó el porcentaje de tallos fértiles por plantón (%) (TF), granos llenos por panículas (%) (GLL), el número de panículas por m^2 (NP), el número de granos por panículas (NG), la longitud de la panícula

Tabla 1. Resultados de la composición química del biopreparado microorganismos eficientes (ME).

	MS	MO	C	pH	N	K^+	P	Ca^{2+}	Mg^{2+}
ME		(g)					(g kg^{-1})		
	1,3	6,8	3,2	6,61	2,92	6,00	2,17	56,11	24,30

MS: materia seca; MO: materia orgánica; C, cenizas; pH: potencial hidrógeno; N: nitrógeno; K^+: potasio; P: fósforo. Ca^{2+}: calcio. Mg^{2+}: magnesio.

(cm) (LP), la masa de 1000 granos (g) (M100) y el rendimiento (t ha^{-1}).

Análisis estadísticos

Los datos obtenidos fueron procesados en el paquete estadístico AgroEstat® (Barbosa y Maldonado, 2015) para Microsoft Windows y analizados por medio de estadística descriptiva de variables continuas. La distribución normal se comprobó por el test de Shapiro-Wilk. Después de verificar la normalidad de los datos fueron sometidos a un análisis de regresión polinomial, la significancia de la variancia se determinó mediante la prueba de Fisher (F) ($p \leq 0{,}05$) y las medias fueron comparadas a través de la prueba de Rangos Múltiples de Tukey ($p \leq 0{,}05$).

Resultados y discusión

Se realizó una prueba ANOVA de dos vías para detectar diferencias en la AP y el TP (Figura 1A,B). Una interacción significativa ($p \leq 0{,}01$) ocurrió entre los factores D y ME durante el período experimental. La AP de arroz mostró un incremento creciente lineal con el aumento de las densidades de plantación ($p \leq 0{,}01$) (Figura 1A). Además quedó evidenciado que la aplicación del biopreparado de ME incrementó la AP del cultivar INCA-LP-5 ($p \leq 0{,}01$) (Figura 1A). Esta relación lineal creciente entre la AP del arroz y las D fue posible porque al incrementarse el número de plantas por área, se reduce la captación de la luz y aumenta la competencia (Rajapakse, Young, McMahon y Oi, 1999). Estos resultados indican que existe una relación entre las densidades de siembra y la altura de la planta, según lo informado anteriormente por varios autores (Baloch *et al.*, 2002; Calero *et al.*, 2015). Por otro lado, la aplicación del biopreparado de ME al suelo incorporó nutrientes esenciales como N; P, K y Ca que favorecen y estimulan el crecimiento de las plantas. Los efectos benéficos de estos macronutrientes sobre el crecimiento de las plantas de arroz fueron reportados previamente (Takehisa *et al.*, 2013).

El número de TP mostró un decrecimiento lineal con el incremento de las densidades de plantación y una interacción significativa entre los factores D × ME ($p \leq 0{,}01$) (Figura 1B). La presencia (100 mL L^{-1}) del biopreparado de ME aumentó el número de TP en relación con su ausencia ($p \leq 0{,}01$) (Figura 1B). La densidad de plantación de 25000 plantas ha^{-1} mostró disminuciones en el número de TP de 10, 26 y 43% comparada con las densidades de 35000, 45000 y 55000 plantas ha^{-1}, respectivamente, bajo la ausencia de ME. Sin embargo, con la aplicación del biopreparado de ME estas disminuciones en el TP correspondieron a 10, 21 y 32%, respectivamente (Figura 1B). Estos resultados pudieron estar influenciados por el incremento de la AP (Figura 1A). Se demostró que para lograr un adecuado número de TP deben combinarse varios factores como densidad,

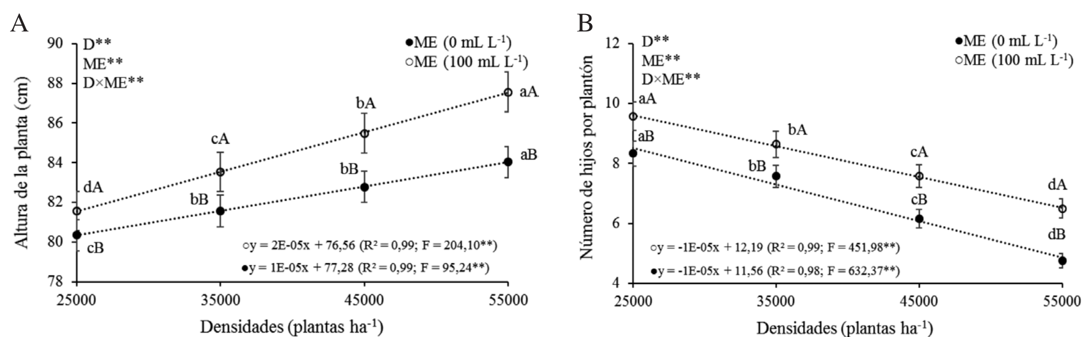


Figura 1. Altura promedio de la planta (A) y número de hijos promedios por plantón (B) obtenidos de arroz en función de las densidades de plantación (2500, 3500, 45000 y 55000 plantas ha^{-1}) y la ausencia (0 mL L^{-1}) y presencia (100 mL L^{-1}) del biopreparado microorganismos eficientes. Valores representados por las medias de cinco réplicas más la desviación estándar de la media (Medias ± DE; $n = 5$). Letras minúsculas diferentes difieren entre las densidades de plantación para el mismo nivel de ME y letras mayúsculas diferentes difieren entre los niveles de ME en la misma densidad de plantación. D × ME, interacción densidad-microorganismos eficientes. Valores de R^2, F y la $p \leq 0{,}01$** de acuerdo al análisis Polinomial. Las barras del error muestran el error estándar (EE) basado en el promedio de cinco réplicas.

genotipo, preparación del suelo, plántulas de calidad y adecuado manejo del agua, lo que puede contribuir significativamente a obtener buenos resultados (Calero *et al*., 2015). En consecuencia, este incremento del número de TP en presencia del biopreparado de ME pudo deberse a la introducción de nutrientes como el N y Ca presentes en el bioproducto (Tabla 1), los cuales aumentan y aceleran la división celular (Nascente, Crusciol, y Cobucci, 2013). Estos efectos benéficos de la aplicación del biopreparado ME en el incremento del número de TP fueron descritos anteriormente (Milian *et al*., 2014).

Los porcentajes de tallos fértiles por plantón (TF) y granos llenos por panículas (GLL) de las plantas de arroz fueron modificados por las densidades de plantación y la aplicación del biopreparado de ME (Tabla 2). El porcentaje de TF fue superior en la densidad de plantación de 45000 plantas ha^{-1}, independientemente de la adición o no de los ME, comparado con las otras densidades evaluadas (Tabla 2). Estos resultados pudieron ser modificados por la influencia de la AP y el número de TP (Figura 1A,B) y estuvieron en línea con los hallazgos anteriores reportados (Calero *et al*., 2015; Milian *et al*., 2014). Se demostró que las densidades de plantación alteraron la producción de los TF (Tabla 2). Estos resultados son consistentes con otros estudios descritos anteriormente (Calero *et al*., 2015), los cuales indicaron que la densidad de plantación modificó el porcentaje de TF en este cultivo.

El mayor porcentaje de GLL se encontró en la densidad de plantación de 45000 plantas ha^{-1}, tanto para la ausencia como presencia del biopreparado de ME (Tabla 2). Esto fue posible porque esa densidad produjo un adecuado número de TF (Tabla 2). Los resultados son consistentes con estudios anteriores, que demostraron que un apropiado número de TF propició un sistema radicular más desarrollado y panículas más grandes con mayor cantidad de granos, lo cual incidió directamente en el rendimiento (Akhgari y Kaviani, 2011). Por otro lado, la aplicación de ME tuvo una marcada influencia en el incremento de los GLL, y ello se debió a que incrementó el número de TP (Figura 1B) y el porcentaje de TF (Tabla 2). Estos resultados fueron similares a los reportados previamente por Milian *et al.* (2014), quienes también aumentaron el porcentaje de GLL por panículas, con la aplicación del biopreparado de ME.

Un efecto significativo ($p \leq 0{,}01$) y cuadrático ocurrió en el NP y el NG en plantas de arroz, independientemente de la ausencia o presencia del biopreparado de ME, y mostraron una interacción significativa entre las D × ME ($p \leq 0{,}01$) (Figura 2A,B). El NP fue superior en la densidad de plantación de 45000 plantas ha^{-1}, tanto en la ausencia como en presencia del biopreparado de ME, comparada con las demás densidades evaluadas, con incrementos en el NP de 13% en la no adición de ME y de 11% en la adición del biopreparado de ME (Figura 2A). Estos resultados pudieron estar influenciados porque esa densidad alcanzó una mayor producción del número de TF y el porcentaje de GLL (Tabla 2). Consistentes con nuestros resultados, Baloch *et al.* (2002) y Calero *et al.* (2015) expresaron que el NP es el componente más importante del rendimiento y contribuye con el 89% de las variaciones en el rendimiento. Además se demostró previamente que las densidades de plantación ejercieron una correlación fuerte y positiva entre el vaneo y el rendimiento del arroz (Calero *et al*., 2015). Por otro lado, se observó una fuerte influencia de la aplicación del biopreparado ME en el incremento del NP (Figura 3A). Este efecto puede explicarse porque la adición de los ME aumentó el número

Tabla 2. Hijos fértiles por plantón (%) y granos llenos por panículas (%) obtenidos en plantas de arroz en función de las densidades de plantación (2500, 3500, 45000 y 55000 plantas ha^{-1} y la ausencia (0 mL L^{-1}) y presencia (100 mL L^{-1}) del biopreparado microorganismos eficientes.

Densidades	Hijos fértiles por plantón (%)		Granos llenos por panículas (%)	
	ME (0 mL L^{-1})	ME (100 mL L^{-1})	ME (0 mL L^{-1})	ME (100 mL L^{-1})
25000	88,56	92,26	76,80	83,25
35000	90,23	95,58	80,58	88,55
45000	91,24	96,42	81,24	94,36
55000	89,78	94,92	79,83	85,61

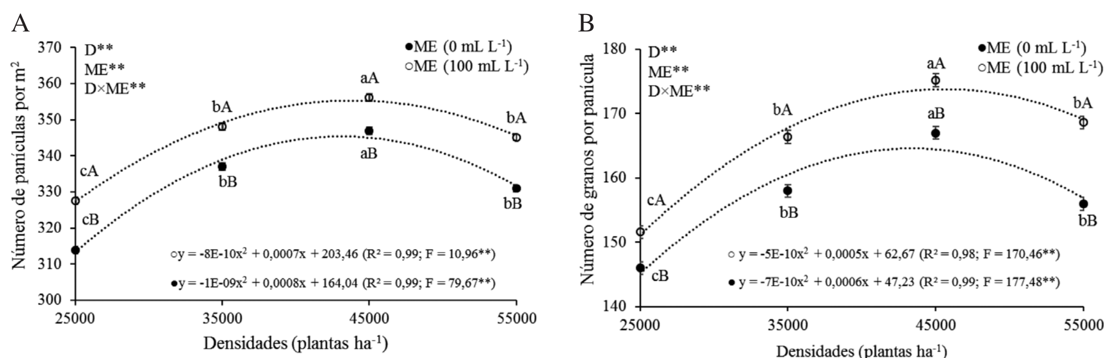


Figura 2. Número de panículas por m^2 (A) y número de granos por panícula (B) obtenidos en las plantas de arroz en función de las densidades de plantación (2500, 3500, 45000 y 55000 plantas ha^{-1}) y la ausencia (0 mL L^{-1}) y presencia (100 mL L^{-1}) del biopreparado microorganismos eficientes. Medias ± DE; *n* = 5. Letras minúsculas diferentes difieren entre las densidades de plantación para el mismo nivel de ME y letras mayúsculas diferentes difieren entre los niveles de ME en la misma densidad de plantación. D × ME, interacción densidad–microorganismos eficientes. Valores de R^2, F y la $p \leq 0,01$** de acuerdo al análisis Polinomial. Las barras del error muestran el EE basado en el promedio de cinco réplicas.

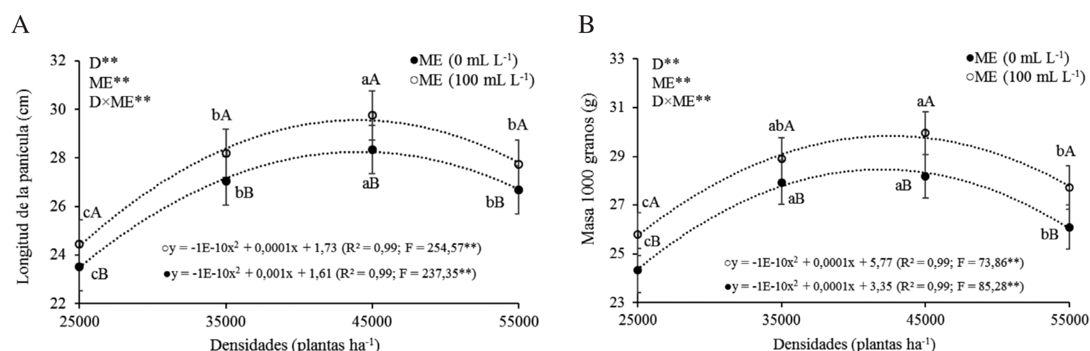


Figura 3. Longitud promedio de la panícula (A) y la masa promedio de 1000 granos (B) obtenidas en las plantas de arroz en función de las densidades de plantación (2500, 3500, 45000 y 55000 plantas ha^{-1}) y la ausencia (0 mL L^{-1}) y presencia (100 mL L^{-1}) del biopreparado microorganismos eficientes. Medias ± DE; *n* = 5. Letras minúsculas diferentes difieren entre las densidades de plantación para el mismo nivel de ME y letras mayúsculas diferentes difieren entre los niveles de ME en la misma densidad de plantación. D × ME, interacción densidad-microorganismos eficientes. Valores de R^2, F y la $p \leq 0,01$** de acuerdo al análisis Polinomial. Las barras del error muestran el EE basado en el promedio de cinco réplicas.

de TF y el porcentaje de GLL (Tabla 2), debido a la incorporación de nutrientes esenciales presentes en su composición (Tabla 1). En consecuencia, estos resultados están relacionados con estudios previos en este cultivo (Milian *et al*., 2014).

El NG aumentó cuadráticamente con las densidades de plantación independientemente de la adición o no del biopreparado de ME y mostró una interacción significativa entre las D × ME ($p \leq 0,01$) (Figura 2B). Sin embargo, la presencia de ME fue significativamente superior a la ausencia en la producción del NG ($p \leq 0,01$). La densidad de 45000 plantas ha^{-1} logró un desempeño superior a las demás densidades estudiadas, tanto en la ausencia como en presencia del biopreparado ME. En condiciones sin ME los incrementos fueron de 14% y en la presencia de ME de 16% comparados con la menor densidad de 25000 plantas ha^{-1}. Las densidades de 35000 y 55000 plantas ha^{-1} mostraron un efecto similar y ambas fueron estadísticamente superiores a la menor densidad de plantación empleada (Figura 2B). Este efecto pudo deberse al incremento ocurrido en el TF, GLL (Tabla 2), NP (Figura 2A). Nuestros resultados son consistentes con los reportados por Calero *et al.* (2015), quienes expresaron que el aumento del NG redundó en mayores rendimientos del grano. Por otro lado, la presencia (100 mL L^{-1}) del

biopreparado ME incrementó significativamente el NG, y esto ocurrió posiblemente porque fueron aumentados los parámetros evaluados como el TF, GLL (Tabla 2), NP (Figura 2A) y también por los nutrientes presentes en su composición (Tabla 1). Estos efectos benéficos del uso de los ME en el aumento del NG fueron reportados anteriormente (Milian *et al.*, 2014).

La LP presentó un efecto significativo y cuadrático como resultado de las densidades de plantación y el biopreparado de ME. Además mostró una interacción altamente significativa entre las D × ME ($p \leq 0,01$) (Figura 3A). La presencia del biopreparado de ME tuvo un desempeño superior en la LP en comparación con la ausencia ($p \leq 0,01$). En ambas condiciones evaluadas, la densidad de plantación de 45000 plantas ha^{-1} ($p \leq 0,01$) fue superior comparada con las otras densidades estudiadas. En la ausencia de ME los incrementos fueron de 22%, mientras que la aplicación del biopreparado de ME aumentó la LP en 21%. Las densidades de 35000 y 55000 plantas ha^{-1} mostraron efectos similares en la LP y fueron significativamente superiores a la menor densidad (25000 plantas ha^{-1}) (Figura 5). Estos efectos en el aumento de la LP pudieron estar ocasionados por el incremento de los parámetros evaluados como la AP, TP, TF, GLL, NP y GP (Figura 1A,B; Tabla 2, Figura 2A,B). Nuestros resultados son consistentes con los hallazgos reportados anteriormente (Baloch *et al.*, 2002; Calero *et al.*, 2015). En consecuencia, están de acuerdo con un estudio previo que demuestra que la aplicación del biopreparado ME incrementó la LP de las plantas de arroz (Milian *et al.*, 2014).

La masa de 1000 granos mostró una interacción significativa ($p \leq 0,01$) entre los factores D y ME. La aplicación del biopreparado ME logró un mejor desempeño en la masa de 1000 granos en relación con la ausencia de éste (Figura 3B). Los mayores resultados se obtuvieron en la densidad de 45000 plantas ha^{-1} comparada con las demás densidades en ambas condiciones de cultivo, con incrementos similares de ~16%. Las densidades de 35000 y 55000 plantas ha^{-1} mostraron efectos similares en la masa de 1000 granos y fueron significativamente superiores a la menor densidad ($p \leq 0,01$) (Figura 3B). Estos efectos de las densidades de plantación sobre la masa de los granos fueron observados anteriormente (Baloch *et al.*, 2002; Calero *et al.*, 2015). Nuestros resultados se explican porque la densidad de 45000 plantas ha^{-1} tuvo una influencia positiva en los parámetros evaluados como la AP, TP, TF, GLL, NP, GP y la LP (Figura 1A,B; Tabla 1; Figura 2A,B, Figura 3A), e incluso fueron superiores cuando se aplicó el biopreparado de ME. Además están de acuerdo con los hallazgos reportados anteriormente por Milian *et al.* (2014), quienes sugirieron que la suplementación con ME aumentó la masa de los granos de arroz y también fueron registrados previamente en frijol (Calero, Pérez, Quintero, Olivera y Peña, 2019; Calero *et al.*, 2019) y habichuela (Calero *et al.*, 2020).

El rendimiento del grano presentó una interacción significativa ($p \leq 0,01$) entre los factores D y ME (Figura 4). Se demostró que la presencia del biopreparado de ME tuvo un mejor desempeño en el rendimiento del cultivar INCA-LP-5 y mostró una diferencia significativa ($p \leq 0,01$) (Figura 1). En ambas condiciones de cultivo, los mayores resultados fueron alcanzados en la densidad de 45000 plantas ha^{-1} comparados con las otras densidades evaluadas. En la ausencia de ME el incremento del rendimiento fue de 84% en relación con menor densidad, mientras que en la presencia de ME el incremento fue de 58% en relación con la densidad de 25000 plantas ha^{-1}. Los cambios mostrados en el rendimiento por las densidades de 35000 y 55000 plantas ha^{-1} fueron similares

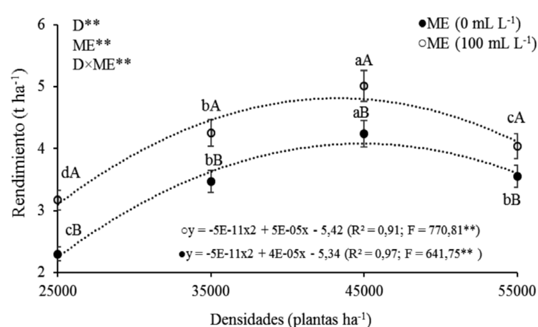


Figura 4. Rendimiento promedio obtenido en las plantas de arroz en función de las densidades de plantación (2500, 3500, 45000 y 55000 plantas ha^{-1}) y la ausencia (0 mL L^{-1}) y presencia (100 mL L^{-1}) del biopreparado microorganismos eficientes. Medias ± DE; $n = 5$. Letras minúsculas diferentes difieren entre las densidades de plantación para el mismo nivel de ME y letras mayúsculas diferentes difieren entre los niveles de ME en la misma densidad de plantación. D × ME, interacción densidad–microorganismos eficientes. Valores de R^2, F y la $p \leq 0,01$** de acuerdo al análisis Polinomial. Las barras del error muestran el EE basado en el promedio de cinco réplicas.

y superiores significativamente a la densidad de 25000 plantas ha^{-1}. Este efecto de las densidades de plantación en el rendimiento del grano de arroz fue posible porque se incrementaron los parámetros evaluados como la AP, TP, TF, GLL, NP, GP, LP y la masa de 1000 granos (Figura 1A,B; Tabla 1; Figura 2A, B, Figura 3A, B). Los resultados del estudio actual estuvieron de acuerdo con los hallazgos observados anteriormente en plantas de arroz (Baloch *et al.*, 2002; Calero *et al.*, 2015) y también se evidenció que aún es posible maximizar el rendimiento con la aplicación del biopreparado de ME. Por lo tanto, es evidente que la presencia de ME incrementó la productividad del arroz porque tuvo una influencia positiva en los parámetros del crecimiento y desarrollo del cultivo. Estos resultados son consistentes con los hallazgos de estudios previos en arroz (Milian *et al.*, 2014), según los cuales la aplicación del biopreparado de ME aumentó la productividad del cultivo.

Finalmente, la hipótesis propuesta fue verificada, y se determinó que las densidades de plantación adecuadas incrementan los rendimientos del arroz debido a la modificación de los parámetros evaluados. Adicionalmente, estos hallazgos sugieren fuertemente que es posible maximizar el rendimiento del arroz con la aplicación del biopreparado de microorganismos eficientes.

Conclusiones

La densidad de 45000 plantas ha^{-1} fue la más efectiva y promedió un rendimiento del grano significativamente mayor que las otras tres densidades. Esto fue posible porque se modificaron los parámetros evaluados. Nuestros resultados indican que la adición de ME vía suelo potencializa la productividad del cultivo y, por lo tanto, podría conducir a un aumento sostenible en el rendimiento del arroz.

Literatura citada

Abe, A.
2006. El crecimiento de las plantas de arroz. In: Hoshikawa, K. (Ed.). Aspectos morfológicos y fisiológicos de los caracteres fundamentales de la planta de arroz. Centro Internacional de Tsukuba. Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA). Japón. pp. 80-87.

Akhgari, H.; Kaviani, B.
2011. Assessment of direct seeded and transplanting methods of rice cultivars in the northern part of Iran. *African Journal of Agricultural Research*, 6(31): 6492-6498.

Baloch, A.W.; Soomro, A.M.; Javed, M.A.; Ahmed, M.; Bughio, H.R.; Mastoi, N.N.
2002. Optimum plant pensity for high yield in rice (*Oryza sativa* L.). *Asian Journal of Plant Sciences*, 1(1): 25-27.

Calero, A.; Pérez, Y.; Quintero, E.; Olivera, D.; Peña, K.
2019e. Efecto de la aplicación asociada entre *Rhizobium leguminosarum* y microorganismos eficientes sobre la producción del frijol común. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 20(2): 309-322.

Calero, A.; Quintero, E.; Olivera, D.; Peña, K.; Pérez, Y.
2019b. Influencia de dos bioestimulantes en el comportamiento agrícola del cultivo del tabaco (*Nicotiana tabacum* L.). *Revista de la Facultad de Ciencias*, 8(1): 31-44.

Calero, A.; Pérez, Y.P.; Hurtado, Y.G.-P.; Simón, L.A.Y.; Peña, K.P.; Olivera, D.; Meléndrez, J.F.M.
2020. Respuesta agroproductiva de la habichuela a la aplicación de vermicompost lixiviado y microorganismos eficientes. *Revista de la Facultad de Ciencias*, 9(1): 112-124.

Calero, A.; Olivera, D.; García, V.
2015. Influencia de cuatro distancias de trasplante sobre el rendimiento agrícola del cultivar de arroz Amistad-82. *Infociencia*, 19(2): 13-23.

Calero, A.; Pérez, Y.; Olivera, D.; Quintero, E.; Peña, K.; Nedd, L.L.; Jiménez, J.
2019a. Effect of different application forms of efficient microorganisms on the agricultural productive of two bean cultivars. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 72(3): 8927-8935.

Calero, A.; Pérez, Y.; Peña, K.; Quintero, E.; Olivera, D.
2019c. Efecto de tres bioestimulantes en el comportamiento morfológico y productivo del cultivo del rábano (*Raphanus sativus* L.). *Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ)*, 36(1): 54-73.

Calero, A.; Quintero, E.; Pérez, Y.
2017. Utilización de diferentes bioproductos en la producción de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L). *Agrotecnia de Cuba*, 41(1): 17-24.

Calero, A; Quintero, E.; Pérez, Y.; González-Pardo, Y.; Lorenzo, T.N.
2019d. Microorganismos eficientes y vermicompost lixiviado aumentan la producción de pepino. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 22(2): 1-9.

Calero, A.; Quintero, E.; Pérez, Y.; Olivera, D.; Peña, K.; Jiménez, J.
2019f. Efecto entre microorganismos eficientes y fitomas-e en el incremento agroproductivo del frijol. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 17(1): 25-33.

Elmoghazy, A.M.; Elshenawy, M.M.
2019. Sustainable cultivation of rice in Egypt. In: Negm, A.M.; Abuhashim, M. (Eds.). Sustainability of Agricultural Environment in Egypt: Part I. Springer Verlag. pp. 119-144.

Hernández, A.; Pérez, J.J.; Bosch, D.; Castro, N.
2015. Clasificación de los suelos de Cuba. Ediciones INCA. La Habana, Cuba. 93 p.

Higa, T.; Parr, J.
1994. Beneficial and effective microorganisms for a sustainable agriculture and environment International Nature Farming Research Center. Atami, Japan. 16 p.

Huang, M.; Zhang, W.; Jiang, L.; Zou, Y.
2013. Impact of temperature changes on early-rice productivity in a subtropical environment of China. *Field Crops Research*, 146: 10-15.

Marxen, A.; Klotzbücher, T.; Jahn, R.; Kaiser, K.; Nguyen, V. S.; Schmidt, A.; Schädler, M.; Vetterlein, D.
2016. Interaction between silicon cycling and straw decomposition in a silicon deficient rice production system. *Plant and Soil*, 398(1-2): 153-163.

Milian, P.; González, J.; Cuellar, E. de la C.; Rivero, C.J.; Fresneda, C.; Terrero, W.
2014. Efecto de microorganismos eficientes (ME-50) sobre la morfología y el rendimiento del cultivo del arroz (*Oryza sativa*) en Aguada de Pasajeros. *Revista Científica Agroecosistemas*, 2(2): 327-336.

Nascente, A.S.; Crusciol, C.A.C.; Cobucci, T.
2013. The no-tillage system and cover crops-Alternatives to increase upland rice yields. *European Journal of Agronomy*, 45: 124-131.

Olivera, D.; Ayala, J.; Calero, A.; Santana, M.; Hernández, A.
2014. Prácticas agroecológicas en la provincia de Sancti Spíritus, Cuba. Microorganismos eficientes (EM), una tecnología apropiada sobre bases agroecológicas. *Ciência Tecnologia Sociedade (Cts) na Construção da Agroecologia*, 7(1): 77-83.

Rajapakse, N., Young, R., McMahon, M.; Oi, R.
1999. Plant height control by photoselective filters: current status and future prospects. *HortTechnology*, 9(4), 618-624.

Rivero, L.; Suárez, C.
2015. Instructivo Técnico Cultivo de Arroz (1st ed.). Asociación Cubana de Técnicos Agrícolas y Forestales. La Habana, Cuba. 44 p.

Shen, J.-H.; Shao, W.-J.; Zhang, Z.-J.; Jing, Q.-J., Yang, J.-C.; Chen, W.-L.; Zhu, Q.-S.
2006. Effects of sowing density, fertilizer amount in seedbed and seedling age on seedling quality and grain yield in paddy field for mechanical transplanting rice. *Acta Agronomica Sinica*, 32(3): 402-409.

Takehisa, H.; Sato, Y.; Antonio, B.A.; Nagamura, Y.
2013. Global transcriptome profile of rice root in response to essential macronutrient deficiency. *Plant Signaling & Behavior*, 8(6): 1-7.

Tian, G.; Gao, L.; Kong, Y.; Hu, X.; Xie, K.; Zhang, R.; Ling, N.; Shen, Q.; Guo, S.
2017. Improving rice population productivity by reducing nitrogen rate and increasing plant density. *PLOS ONE*, *12*(8): e0182310.